

УДК 502/504:627.82.034.93

В. Я. ЖАРНИЦКИЙФедеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«Московский государственный университет природообустройства»**К ВОПРОСУ КАЧЕСТВА УСТРОЙСТВА
ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОННОЙ ЗАВЕСЫ В ОСНОВАНИИ
КАМЕННО-ЗЕМЛЯНОЙ ПЛОТИНЫ САХАБИ
(СИРИЙСКАЯ АРАБСКАЯ РЕСПУБЛИКА)**

Цементационные работы как работы скрытого характера обязательно контролируются на всех этапах их производства, что позволяет объективно оценить качество выполненной противофильтрационной завесы в основании плотины.

Цементация, противофильтрационная завеса, радиус закрепления, потери напора, градиент фильтрации, водоудерживающая способность.

Cementations works as works of the hidden character are necessarily supervised at all stages of their manufacture that allows on the structure and volume to estimate objectively the quality of the executed grout curtain in the dam basis.

Cementation, cutoff curtain, radius of fixation, head losses, gradient of filtration, water retaining capacity.

Строительство плотин из грунтовых материалов распространено во всем мире. Это обусловлено их максимальной экономичностью, строительством в относительно короткие сроки, использованием грунтов полезных выемок, возможностью возведения в различных природных условиях.

Аварии на грунтовых плотинах при значительных достижениях техники и совершенствовании технологии и опыта строительства, повышении общего уровня знаний и качества технических решений происходят по ряду объективных и субъективных факторов. В числе первых — природные стихийные явления: ураганы, катастрофические ливни (паводки), горные обвалы (оползни), землетрясения и т. п. К субъективным факторам относятся ошибки в проектировании, низкое качество инженерно-геологических и гидрогеологических изысканий, неудовлетворительное качество работ и ошибки в эксплуатации таких сооружений.

К проектировщикам и строителям грунтовых гидротехнических сооружений предъявляются серьезные требо-

вания в части надежности и долговечности. Важнейшее условие обеспечения эксплуатационной надежности и долговечности грунтовых напорных сооружений — строгое соблюдение всех требований и решений проекта по их возведению, нормативных положений по выполнению таких работ.

Каменно-земляная плотина Сахаби проектной высотой 68 м и длиной по гребню 1260...1300 м перекрывает русла рек Беит Яшут и Эль Джвеб. К моменту завершения возведения сооружения стали очевидны проблемы с водоудерживающей способностью в русле реки Беит Яшут. Было высказано предположение, что причиной этих проблем являются либо ошибки проектного решения по устройству завесы, либо низкое качество работ по ее устройству.

Для плотины Сахаби, в соответствии с данными инженерно-геологических изысканий, по проекту предусмотрена противофильтрационная завеса в основании сооружения: контактная — на глубину 5...6 м и глубокая — на глубину 25...30 м. Для обеспечения

надежной и благоприятной работы по устройству завесы в первую очередь выполнялась контактная цементация, а затем ряд работ по глубокой цементации. Причем оба ряда завесы были выполнены с установкой анкеров на глубину 3 м железобетонной плиты, специально предусмотренными проектом. Устройство плиты: подготовка основания, установка анкеров, арматурные и бетонные работы — соответствует нормам и требованиям технического проекта и исполнения



Рис. 1. Разработка основания под цементационную плиту



Рис. 2. Подготовка основания под цементационную плиту



Рис. 3. Установка анкеров

таких работ (рис. 1—5).

Для формирования безопасного режима фильтрации в основании плотины на завесе должно гаситься не менее 60 % (или 2/3) напора верхнего бьефа.

Достаточность проектной глубины завесы ($S = 25...30$ м) можно оценить из условия (рис. 6)

$$I_{\max} = \frac{\Delta H}{l} \leq I_{\text{доп}},$$

где I_{\max} — максимальный градиент напора в теле завесы; $I_{\text{доп}}$ — допустимый градиент напора в теле завесы: для напора в верхнем бьефе 65 м и при обеспечении плотности завесы с удельным водопоглащением $q = 0,03$ л/мин допустимый градиент не должен превышать 15 [1; 2]; l — расчетная толщина завесы: для принятой технологии производства работ минимальный радиус крепления — не менее 2 м, а толщина — не менее 4 м; Δ — величина приведенного падения напора (если предположить, что граница цементации не достигает пород с $q = 0,02...0,05$ л/мин, т.е. $T = 50$ м, то при $l:S = 4:25 = 0,16$; $S:T = 25:50 = 0,5$; $B/S = 1,04 \approx 1,0$ величина приведенного падения напора $\Delta = 0,83$, или 83 %) [1, 2].

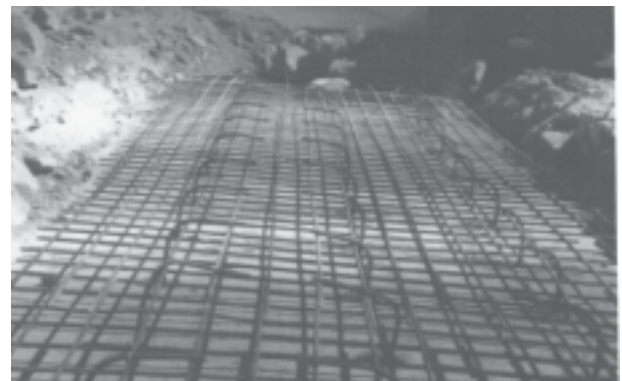


Рис. 4. Установка арматурного каркаса для цементационной плиты



Рис. 5. Бетонирование плиты

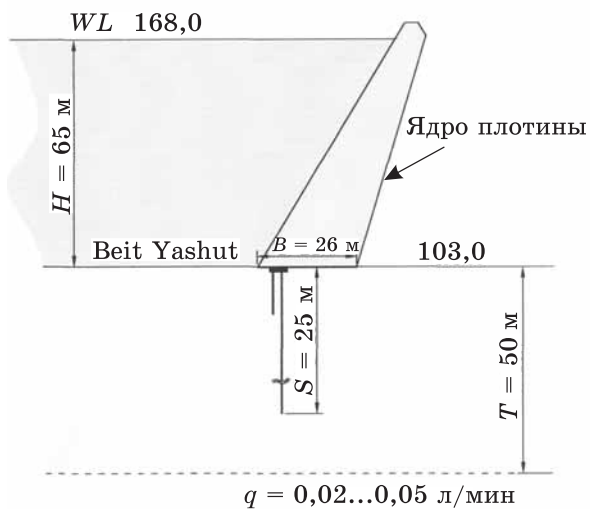


Рис. 6. Схема к обоснованию проектного решения

Тогда фактическое падение проектного напора в зоне завесы составит $\Delta H = 0,83 \cdot 65 = 44,8$ м.

Максимальный градиент напора в зоне цементационной завесы $I_{\max} = 44,8 : 4 = 11,2 < I_{\text{доп}} = 15$.

Таким образом, чтобы ставить вопрос о достаточности глубины завесы, необходимо иметь напор в верхнем бьефе не менее 44...45 м. В 2001 г. он составил 26,5 м (129,5 — 103,0), в 2002 г. — 28 м (131 — 103).

Давление цементации устанавливается на основании данных изысканий и опытно-производственной цементации. Нагнетание цементного раствора проводят непосредственно вслед за гидравлическим опробованием, которое позволяет установить характер трещиноватости породы в зоне цементации, наметить оптимальный режим нагнетания раствора, смочить породы. Если принять, что скважина $2r$ питает водой трещину шириной e на площади nR^2 , то расход воды q в трещине составляет (рис. 7) [3]

$$q = \frac{\pi}{6\eta \ln R/r} P e^3,$$

где η — вязкость воды.

Отношение R/r очень мало влияет на величину q . Если E — модуль упругости породы, а P — давление воды, вызывающие увеличение ширины трещины Δe , то $\Delta e = \alpha P/E$ и

$$q = \frac{\pi}{6\eta \ln R/r} P \left(e + \frac{\alpha}{E} P \right)^3 \cong AP^4.$$

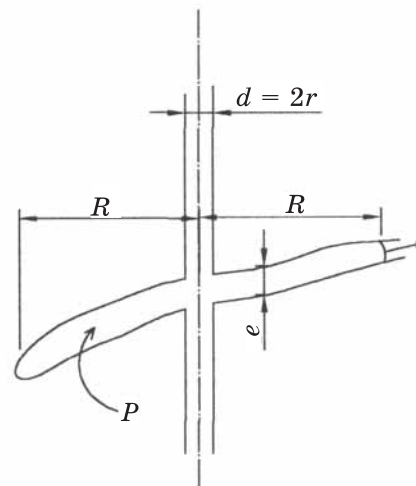


Рис. 7. Расход воды через трещину

Данная зависимость показывает, что расход воды q быстро увеличивается с ростом давления и для $e \cong 0$ пропорционален P^4 . Это резкое увеличение не связано с разрывами породы, а вызвано упругим сжатием последней. Расход q обратно пропорционален E и обычно больше в деформируемых (слабых) скальных породах.

На этом основании считают, что цементацию следует вести под давлением, при котором трещины в скале получают дополнительное раскрытие в пределах упругих деформаций. После прекращения цементации цементные отложения не позволяют трещинам принять первоначальное раскрытие, что обеспечивает обжатие скального массива и максимальный эффект уплотнения.

В процессе цементации по мере уплотнения скалы допустимое давление цементации увеличивается [4]. Именно поэтому давление нагнетания рекомендуется назначать с повышением от очереди к очереди. Причем учет очередности цементационных скважин при выборе допустимого давления нагнетания производится путем назначения более высокого давления при цементации скважин второй и третьей очереди по сравнению с первой. Это увеличение выражают путем введения коэффициентов, повышающих в 1,25—1,75 раза

значение удельного давления на каждый метр погружения кровли зоны цементации, а также в зависимости от схемы цементации: нисходящими или восходящими зонами (в первом случае величины коэффициентов, повышающих давление на 1 погонный метр погружения кровли цементуемой зоны выше, чем во втором [1, 2]). Способ цементации «снизу вверх» технически прост и требует меньше затрат на бурение и цементацию, однако имеет и недостатки:

при значительной водопроницаемости пород большая величина одновременно цементуемой зоны (захватки) может привести к невозможности создания необходимого для качественной цементации давления;

кольматация трещин в стволе скважины буровым шламом, степень которой зависит от длины скважины (это наиболее опасно в сухих скважинах, а также в скважинах с низким положением грунтовых вод).

Способ цементации «сверху вниз» практически лишен указанных недостатков и позволяет применять высокое давление без опасных деформаций вышележащей толщии грунта, корректировать величину цементуемых зон в зависимости от состава грунтов и их водопроницаемости. Установка тампона на минимально необходимой глубине благоприятно сказывается на цементации нижележащих зон, поскольку каждая вышележащая зона при цементации очередной цементуется повторно, что увеличивает эффективность цементации.

Принципы цементации позволяют увеличить радиус закрепления породы и увеличить расстояние между цементационными скважинами в ряду. Это

подтверждается и мировой практикой. Кроме того, если бы расстояние между скважинами в ряду было недостаточным, то вода появилась бы сразу за плотиной, в нижнем бьефе.

Если при цементации происходит разрыв породы, то разрушение скалы идет не только по направлению ее слоистости, но и под некоторым углом к слоистости с обязательным пространственным смещением. Самое главное, давление в системе нагнетания при этом резко падает. Подобный факт ни в одном исполнительном документе не зафиксирован, а следовательно, речи о разрывах пород при цементации быть не должно. Другим приближенным критерием допустимого давления цементации может служить потенциальное гидростатическое давление, передаваемое на породу при заполнении водохранилища, т.е. давление цементации должно превышать напор подземных и фильтрационных вод.

Из сказанного следует, что и с точки зрения производства работ противofильтрационная завеса под плотиной в пределах проектного решения выполнена в соответствии с техническими нормами и требованиями проекта, что подтверждается результатами испытанных контрольных скважин: $q \leq 0,02$ л/мин·м².

С другой стороны, анализ потерь воды в русле реки Беит Яшут показывает, что изменение градиента фильтрации находится в пределах 30 %, при этом потери на фильтрацию меняются на порядок (таблица).

Аргумент в пользу отсутствия фильтрации под плотиной и в обход ее примыканий — отсутствие каких-либо водопроявлений в нижнем бьефе.

Соотношение напоров в верхнем и нижнем* бьефах и потерь на фильтрацию

Средний напор в верхнем бьефе, отметки в метрах	131	129	126	125	122
Потери напора, м	27	26	23	22	19
% от максимального напора (131 м)	100	96	85	81	70
Расход на фильтрацию, м ³ /сут	80	60	52	40	4
% от максимального расхода (80 м ³ /сут)	100	75	65	50	5

* Отметка в нижнем бьефе — 103 м.



Рис. 8. Расчистка русла реки Беит Яшут

В вытекающем из-под плотины ручье на расстоянии минимум 500...700 м приращения стока не наблюдается. Расход же самого ручья около 1 л/с (86 м³/сут) не идет в сравнение с расходом потерь, который составляет около 4000 м³/сут, или 46 л/с. Следовательно, проблема водоудерживающей способности водохранилища Сахаби связана с чашей реки Беит Яшут — это провальная фильтрация через возможно заиленные пустоты, карсты и трещины.

В 2001 г. автор, работающий консультантом-экспертом на строительстве объекта, представлял в дирекцию заказчика анализ сложившейся ситуации по данной проблеме с общими рекомендациями по «лечению» русла реки Беит Яшут. Проведенные впоследствии детальные исследования наряду с геофизическими экспериментами и начало самих работ по расчистке русла подтвердили авторскую гипотезу.

Выводы

Противофильтрационная завеса, устроенная в основании плотины Сахаби, выполнена качественно, в соответствии с требованиями проекта и производства работ, к потерям воды из водохранилища отношения не имеет.

Проблема водоудерживающей способности водохранилища Сахаби связана с чашей русла реки Беит Яшут.

Список литературы

1. Указания по проектированию проти-



Рис. 9. Обнаружение трещин и пустот при расчистке русла реки Беит Яшут

вофильтрационных завес в скальных основаниях бетонных плотин: ВСН-08-65 [Текст]. — Л. : Энергия, 1968. — 115 с.

2. Рекомендации по расчету противофильтрационных завес и фильтрационной прочности оснований грунтовых плотин: П 21-85 [Текст]. — Л.: ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева, 1985. — 60 с.

3. **Jaeger, Ch.** Rock Mechanics and engineering [Text] / Ch. Jaeger. — Cambridge at the university press, 1972. — 255 p.

4. Руководство по производству и приемке цементационных работ : ВТР-С-20-82 [Текст]. — М. : Минводхоз СССР, 1982. — 105 с.

Материал поступил в редакцию 15.05.2008.

Жарницкий Валерий Яковлевич, доктор техн. наук, ученый секретарь ректората, профессор кафедры оснований и фундаментов

Тел. 8 (495) 976-48-06

E-mail: zharnitskiy@msuee.ru